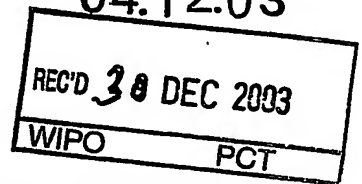


PCT/JP03/15563

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

04.12.03



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2002年12月16日

出 願 番 号
Application Number: 特願2002-363345
[ST. 10/C]: [JP2002-363345]

出 願 人
Applicant(s): 住友電気工業株式会社

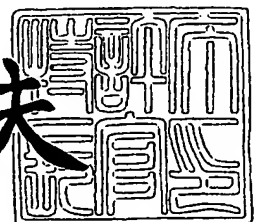
Best Available Copy

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年11月10日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 1021919

【提出日】 平成14年12月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00
G02B 5/18

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

【氏名】 後 利彦

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

【氏名】 大久保 総一郎

【発明者】

【住所又は居所】 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

【氏名】 松浦 尚

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064746

【弁理士】

【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100085132

【弁理士】

【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100083703

【弁理士】

【氏名又は名称】 仲村 義平

【選任した代理人】

【識別番号】 100096781

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【弁理士】

【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 將行

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908053

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 端部に回折光学膜を有する光ファイバとその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 端部に回折光学膜を有する光ファイバであって、

前記回折光学膜は前記光ファイバの端面上またはその端面に接合されたコーミータの端面上に形成された透光性 D L C 層を含み、

この D L C 層は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域とを含む回折格子を含んでいることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 前記回折光学膜は、複数の波長を含む 1 つの光ビームを波長に依存して複数の光ビームに分割することができ、かつ異なる波長を有する複数の光ビームを単一の光ビームに合体させることができる波長合分岐の機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 3】 前記回折光学膜は、単一波長の光ビームを複数の光ビームに分割することができ、かつ単一波長の複数の光ビームを単一の光ビームに合体させることができるパワー合分岐の機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 4】 前記回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれる T E 波と T M 波を分離できかつ合体させることができる偏光合分岐の機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 5】 前記回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれる T E 波または T M 波に対して波長板の機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 6】 端部に回折光学膜を有する光ファイバであって、

前記回折光学膜は前記光ファイバの端面上またはその端面に接合されたコーミータの端面上に順次積層された第 1 の透光性 D L C 層と第 2 の透光性 D L C 層を含み、

前記第 1 と第 2 の D L C 層の各々は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域とを含む回折格子を含んでおり、

前記第 1 の D L C 層は単一波長の光ビームに含まれる T E 波と T M 波を偏光分

離することができる偏光分岐の機能を有し、

前記第 2 の D L C 層は単一波長の光ビームに含まれる T E 波または T M 波に対して波長板の機能を有し、

前記第 1 と第 2 の D L C 層は協働して光アイソレータの機能を有することを特徴とする光ファイバ。

【請求項 7】 前記回折光学膜は前記光ファイバの端面上に形成されていて、 $20\mu\text{m}$ 以下の厚さを有していることを特徴とする請求項 6 に記載の光ファイバ。

【請求項 8】 前記回折光学膜が形成されている前記光ファイバの端部は他の光ファイバの端面と当接接続させるためのコネクタに保持されていることを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバ。

【請求項 9】 前記第 1 の D L C 層と前記第 2 の D L C 層との間に透光性中間層が挿入されていることを特徴とする請求項 6 から 8 のいずれかに記載の光ファイバ。

【請求項 10】 前記回折光学膜は $0.8\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ の範囲内の波長を含む光に対して作用し得る前記回折格子を含んでいることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれかに記載の光ファイバ。

【請求項 11】 請求項 1 から 10 のいずれかに記載された光ファイバを製造する方法あって、前記 D L C 層に所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって、前記回折格子に含まれる前記高屈折率領域を形成することを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 12】 請求項 9 に記載された光ファイバを製造する方法あって、前記前記光ファイバの端面上またはその端面に接合されたコリメータの端面上に前記第 1 の D L C 層を堆積し、

その第 1 の D L C 層に第 1 の所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって前記高屈折率領域を形成し、

前記透光性中間層と前記第 2 の D L C 層を順次堆積し、

その第 2 の D L C 層に第 2 の所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって前記高屈折率領域を形成し、

前記透光性中間層は前記第2の所定のパターンでエネルギービームを前記第2のDLC層に照射するときそのエネルギービームが前記第1のDLC層に影響を及ぼすことを防止するように作用することを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項13】 前記エネルギービームは、X線、電子線、およびイオンビームから選択されることを特徴とする請求項11または12に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項14】 前記DLC層はプラズマCVD法によって堆積されることを特徴とする請求項11から13のいずれかに記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は端部に回折光学膜を有する光ファイバとその製造方法に関し、より具体的には、波長合分歧、パワー合分歧、偏光合分歧、波長板、または光アイソレータの機能を有する回折光学膜を端部に有する光ファイバとその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

周知のように、光の回折を生じさせる回折光学素子は、種々の用途に利用され得る。たとえば、光通信分野で使用される波長合分波器、光カップラ、光アイソレータなどは、回折光学素子を利用して作製することができる。

【0003】

一般に、回折光学素子は、透光性基板上に回折格子層を形成することによって作製される。その回折格子層の構造的相違に基づいて、回折光学素子は屈折率変調型とレリーフ型とに大別される。

【0004】

図14は、屈折率変調型回折光学素子の一例を模式的な断面図で示している。なお、本願の図面において、幅や厚さのような寸法関係は図面の明瞭化と簡略化のために適宜に変更されており、実際の寸法関係を反映してはいない。この屈折率変調型回折光学素子は、透光性基板11上に形成された回折格子層12aを含

んでおり、この回折格子層 12 a には屈折率変調構造が形成されている。すなわち、回折格子層 12 a においては、相対的に小さな屈折率 n_1 を有する局所的領域と相対的に大きな屈折率 n_2 を有する局所的領域とが周期的に交互に形成されている。そして、低屈折率 n_1 の領域を通過した光と高屈折率 n_2 の領域を通過した光との間で生じる位相差に起因して回折現象が生じ得る。

【0005】

屈折率変調構造を有する回折格子層 12 a は、たとえばエネルギービーム照射を受けることによって屈折率が増大する材料を用いて形成することができる。たとえば、Ge がドープされた石英ガラスは、紫外線照射によってその屈折率が増大することが知られている。また、石英ガラスに X 線を照射することによってもその屈折率が増大することが知られている。すなわち、透光性基板 11 上に屈折率 n_1 の石英系ガラス層を堆積し、そのガラス層にエネルギービームを周期的パターンで照射して局所的に屈折率を n_2 に高めることによって、図 14 に示されているような回折格子層 12 a を形成することができる。

【0006】

図 15 は、レリーフ型回折光学素子の一例を模式的な断面図で示している。このレリーフ型回折光学素子は、透光性基板 11 上に形成された回折格子層 12 b を含んでおり、この回折格子層 12 b にはレリーフ構造が形成されている。すなわち、回折格子層 12 b においては、相対的に大きな厚さを有する局所的領域と相対的に小さな厚さを有する局所的領域とが周期的に交互に形成されている。そして、大きな厚さの領域を通過した光と小さな厚さの領域を通過した光との間で生じる位相差に起因して回折現象が生じ得る。

【0007】

レリーフ構造を有する回折格子層 12 b は、たとえば、透光性基板 11 上に石英系ガラス層を堆積し、フォトリソグラフィとエッチングを利用してそのガラス層を加工することによって形成され得る。

【0008】

図 16 は、屈折率変調型回折光学素子のもう 1 つの例を模式的な断面図で示している。図 16 の屈折率変調型回折光学素子は図 14 のものに類似しているが、

図16中の回折格子層12c内には互いに異なる3レベルの屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 を有する局所的領域が周期的に配列されている。このように、回折格子層12c内において3レベルの屈折率 n_1 、 n_2 、 n_3 を有する局所的領域は、たとえば、基板11上に屈折率 n_1 の石英系ガラス層を堆積して、そのガラス層に対して2通りの異なるエネルギーレベルのエネルギービームを照射することによって形成され得る。

【0009】

多（マルチ）レベルの屈折率の局所的領域を含む回折格子によれば、単純な2（バイナリ）レベルの屈折率の領域を含む回折格子の場合に比べて、回折効率が向上し得る。ここで、回折効率とは、入射光のエネルギーに対する回折光エネルギーの総和の比率を意味する。すなわち、回折光を利用する観点からは、回折効率の大きい方が好ましい。

【0010】

図17は、レリーフ型回折光学素子のもう1つの例を模式的な断面図で示している。図17レリーフ型回折光学素子は図15のものに類似しているが、図17中の回折格子層12d内には互いに異なる3レベルの厚さを有する局所的領域が周期的に配列されている。このように、回折格子層12d内において3レベルの厚さを有する局所的領域は、たとえば、基板11上に石英系ガラス層を堆積して、そのガラス層に対してフォトリソグラフィとエッチングによる加工を2回繰り返すことによって形成され得る。このように多レベルの厚さを有する局所的領域を含む回折格子によっても、単純な2レベルの厚さを含む回折格子の場合に比べて、回折効率が向上し得る。

【0011】

なお、図14と図16においては回折格子層中の屈折率がステップ状に変化させられた屈折率変調型回折格子が示されたが、屈折率が連続的に変化させられた屈折率変調型回折格子も形成可能である。その場合には、屈折率を高めるために照射されるエネルギービームのエネルギー量を連続的に変化させればよい。

【0012】

図18は、光通信分野における回折光学素子の利用の一例を模式的に示して

。この図において、光ファイバF 0、F 1、F 2の端面にはそれぞれコリメータC 0、C 1、C 2が接合されている。光ファイバF 0によって導入されてコリメータC 0を介して射出された平行光ビームLは、回折光学素子D Eによって、例えば波長 $\lambda 1$ の光ビームと波長 $\lambda 2$ の光ビームとに分割され得る。これは、光の回折角が波長 λ に依存して異なるからである。

【0013】

そして、 $\lambda 1$ の波長を有する光ビームをコリメータC 1から光ファイバF 1内に入力し、 $\lambda 2$ の波長を有する光ビームをコリメータC 2から光ファイバF 2内に入力することが可能である。すなわち、この場合には、回折光学素子D Eの波長分岐機能が利用されている。もちろん、逆に、光ファイバF 1からコリメータC 1を介して射出された波長 $\lambda 1$ の光ビームと光ファイバF 2からコリメータC 2を介して射出された波長 $\lambda 2$ の光ビームとを回折光学素子D Eによって合体させて、コリメータC 0を介して光ファイバF 0内に入力することも可能である。すなわち、回折光学素子D Eは波長合分岐機能を発揮し得る。そして、このような波長合分岐機能を有する回折光学素子は、波長分割多重(WDM)光通信において重要な役割を果たし得る。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

上述のような屈折率変調型回折光学素子は原理的には作製可能であるが、実用的な屈折率変調型回折光学素子を得ることは困難である。なぜならば、たとえば石英系ガラスにエネルギービームを照射することによって得られる屈折率変化量はせいぜい0.002程度であって、効果的な回折格子層を形成することが困難だからである。

【0015】

したがって、現在では、たとえば特許文献1の特開昭61-213802号公報や非特許文献1のApplied Optics、Vol.41、2002、pp.3558-3566に述べられているように、回折光学素子としてレリーフ型が利用されるのが一般的である。しかし、レリーフ型回折光学素子の作製に必要なフォトリソグラフィやエッチングはかなり複雑な加工工程であり、相当の時間と手間を要する。また、そのエ

ツチング深さを精度よく制御することが容易でない。さらに、レリーフ型回折光学素子においては、その表面に微細な凹凸が形成されているので、埃や汚れが付着しやすいという問題もある。

【0016】

他方、例えば図18に示されているような光合分波回路においては、支持ベース（図示せず）上において光ファイバF0～F2に関して約数mm径の回折光学素子DEを調芯して配置固定しなければならない。すなわち、従来の回折光学素子は光ファイバと別個の光学部品であり、取り扱いの手間が掛かると共に、光回路の小型化を困難にさせている。

【0017】

以上のような先行技術における状況に鑑み、本発明は、実用的で小さな回折光学膜を端部に有する光ファイバを効率的に低コストで提供することを目的としている。

【0018】

【特許文献1】

特開昭61-213802号公報

【0019】

【非特許文献1】

Applied Optics、Vol.41、2002、pp.3558-3566

【0020】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、光ファイバはその端面上またはその端面に接合されたコリメータの端面上に形成された回折光学膜を含み、この回折光学膜は透光性DLC（ダイヤモンドライクカーボン：ダイヤモンド状炭素）層を含み、このDLC層は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域を含む回折格子を含んでいることを特徴としている。

【0021】

そのような回折光学膜は、複数の波長を含む1つの光ビームを波長に依存して複数の光ビームに分割することができ、かつ異なる波長を有する複数の光ビーム

を単一の光ビームに合体させることができる波長合分岐の機能を有し得る。

【0022】

また、そのような回折光学膜は、単一波長の光ビームを複数の光ビームに分割することができ、かつ単一波長の複数の光ビームを単一の光ビームに合体させることができるパワー合分岐の機能を有し得る。

【0023】

さらに、そのような回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれるTE波とTM波を分離しかつ合体させることができる偏光合分岐の機能を有し得る。さらに、そのような回折光学膜は、単一波長の光ビームに含まれるTE波またはTM波に対して波長板の機能を有し得る。

【0024】

さらに、上述の偏光分岐の機能を有する回折格子を含む第1のDLCL層と波長板の機能を有する回折格子を含む第2のDLCL層とを組合せて光アイソレータの機能を生じさせることも可能である。そのような光アイソレータの機能を有する回折光学膜の厚さが $20\mu\text{m}$ 以下の場合、コリメータや集光レンズを要することなくその回折光学膜を介して2つの光ファイバ端面を当接接続することが可能である。なぜならば、 $20\mu\text{m}$ 以下の小さな距離における光の発散はわずかなからである。したがって、そのように薄い回折光学膜が形成されている光ファイバの端部は、他の光ファイバの端面と当接接続させるためのコネクタに保持されていることが好ましい。なお、第1のDLCL層と第2のDLCL層との間に透光性の中間層が挿入されてもよい。

【0025】

さらに、そのような回折光学膜は、 $0.8\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ の範囲内の波長を含む光に対して作用し得る回折格子を含み得る。

【0026】

上述のような本発明による光ファイバを製造するための方法においては、DLCL層に所定のパターンでエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって、回折格子に含まれる高屈折率領域を形成することができる。

【0027】

光アイソレータの機能を生じさせるための第1のDLC層と第2のDLC層との間に透光性中間層が挿入される場合には、光ファイバの端面上またはその端面に接合されたコリメータの端面上に第1のDLC層を堆積し、その第1のDLC層に第1の所定のパターンでエネルギービームを照射して高屈折率領域を形成し、透光性中間層と第2のDLC層を順次堆積し、その第2のDLC層に第2の所定のパターンでエネルギービームを照射して高屈折率領域を形成し、透光性中間層は第2の所定のパターンでエネルギービームを第2のDLC層に照射するときそのエネルギービームが第1のDLC層に影響を及ぼすことを防止するように作用し得る。

【0028】

屈折率を高めるためのエネルギービームは、X線、電子線、およびイオンビームから選択され得る。また、DLC層は、プラズマCVD法によって堆積され得る。

【0029】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明による光ファイバの一例を模式的に図解している。この光ファイバにおいては、約 $10\mu\text{m}$ 径のコア層を含みかつ約 $125\mu\text{m}$ の外径（クラッド層を含む）を有する光ファイバFの端面に円柱状のコリメータCが接合されている。その円柱状コリメータCは約 3mm 径の断面を有し、光ファイバFからの光を約 $350\mu\text{m}$ の断面径の平行光ビームにして射出する。

【0030】

円柱状コリメータCは、平坦な両端面を有している。そのような円柱状コリメータCとして、半径方向に屈折率が連続的に変化していることによりレンズとして作用する分布屈折率レンズを利用し得る。分布屈折率レンズとしては、イオン交換法や拡散重合法などを利用したガラス製やプラスチック製のものが製造されている。

【0031】

円柱状コリメータCの両端面のうちで光ファイバFが接合されていない方の端面上には、透光性DLC（ダイヤモンド状炭素）層を含む回折光学膜DFが形成

されている。そのDLC層は、イオンビームのようなエネルギービーム照射によって局所的に屈折率が高められて形成された屈折率変調型回折格子を含んでいる。したがって、光ファイバFからコリメータCを介して射出される光ビームは、回折光学膜DFによって回折され、その回折角に依存して例えば複数の光ビームL1、L2、L3などに分離される。他方、それらの複数の光ビームL1、L2、L3などを逆方向に回折光学膜DFへ入射させれば、それらの光ビームが回折光学膜DFで一体化されて、コリメータCを介して光ファイバF内に入射されることは言うまでもない。

【0032】

(実施形態1)

図2から図4は、本発明の実施形態1における屈折率変調型回折光学膜の作製方法の一例を図解する模式的な断面図である。

【0033】

図2に示されているように、屈折率1.44を有しかつ5mm×5mmの主面を有するSiO₂基板1上に、DLC層2がプラズマCVDによって2μmの厚さに堆積された。

【0034】

図3においては、DLC層2上に、リフトオフ法によって金マスク3が形成された。この金マスク3においては、幅0.5μmで長さ5mmの金ストライプが0.5μmの間隔を隔てて繰り返し配列されていた。すなわち、この金マスク3は、ライン・アンド・スペースのパターンを有していた。その後、金マスク3の開口部を介して、800keVの加速電圧の下でHeイオンビーム4が5×10¹⁷/cm²のドーズ量でDLC層2に直交する方向に注入された。

【0035】

その結果、DLC層2のうちでHeイオンが注入されなかった領域は1.55の屈折率を有していたが、Heイオンが注入された領域2aの屈折率は2.05に高められていた。このようなDLC層における屈折率変化は石英系ガラスにおいて得られる屈折率変化に比べてはるかに大きいものであり、十分に回折効率の大きな回折格子層の形成が可能となる。

【0036】

図4において、金マスク3がエッチングによって除去され、屈折率変調型回折光学膜DFが得られた。なお、この回折光学膜DFにおける回折格子層2は、屈折率1.55と2.05との2種類の領域を含んでおり、いわゆるバイナリ・レベルの回折格子層である。

【0037】

図5は、得られた屈折率変調型回折光学膜DFを波長合分岐器として使用する場合における波長分岐作用を模式的な断面図で図解している。この断面図において、黒い断面領域は相対的に高い屈折率の領域を表わし、白い断面領域は相対的に低い屈折率の領域を表わしている。図5に表わされているように、たとえば複数の波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 を含む単一の光ビームを回折光学膜DFに入射させれば、その回折光学膜を通過する光の回折角は波長に依存して互いに異なる。その結果、複数波長を含む単一の入射光ビームが、波長ごとに進行方向の異なる複数の回折光ビームに分離され得るのである。

【0038】

もちろん、図5中の矢印で示された入射光ビームと回折光ビームとの向きを逆にすれば、図5の回折光学膜DFが合波器として利用され得ることが明らかであろう。なお、回折光学膜が波長分岐器として使用される場合、光ビームは、一般に回折光学膜の表面の法線に対して0～70度程度の範囲内の適切な角度で入射させられる。ただし、この角度範囲は高屈折領域がDLC層面に直交する方向に形成されている場合に関するものであり、たとえばイオンビームをDLC層面に対して斜め方向に照射して高屈折領域がDLC層面に傾斜して形成されている場合には、その傾斜角を考慮して光ビームの入射角が調整される。

【0039】

本実施形態1において、イオンビームの斜め照射によって幅 $0.5\mu\text{m}$ の金ストライプが $0.5\mu\text{m}$ の間隔で繰り返し配列されたライン・アンド・スペースのパターンを有する回折光学膜DFがコリメータCの一方端面上に形成され、図1に示されているように、そのコリメータCの他端が光ファイバFの端面に接続された。

【0040】

図6は、そのような回折光学膜DFが端面に形成されたコリメータCを一端に備えた光ファイバFにおける波長分岐結果の一例を模式的に示すグラフである。このグラフの横軸は回折光の波長(nm)を表し、縦軸は回折光の強度を任意単位で表わしている。この場合において、 $1.5 \sim 1.6 \mu\text{m}$ の波長範囲と $350 \mu\text{m}$ のビーム径を有する光が、光ファイバFとコリメータCを介して、回折光学膜DFに入射させられた(図1参照)。その結果、図6に示されているように、 $1.5 \mu\text{m}$ から $1.6 \mu\text{m}$ の間で 20 nm 間隔で分布した波長を有する5本の回折光ビームが得られ、それら5本の回折光ビームはほぼ等しい強度を有していた。そして、このときの回折効率は約99%であり、十分に優れた波長分岐特性が得られた。

【0041】

なお、実施形態1においてはライン状の1次元的回折格子パターンが用いられているので、複数の回折光ビームは入射光ビームを含む1つの平面に沿って存在する。しかし、次に述べる実施形態2におけるように2次元的回折格子パターンを用いることによって、複数の回折光ビームの直交断面を2次元的に分布させ得ることは言うまでもない。

【0042】

(実施形態2)

図7は、実施形態2における回折光学膜の2次元的回折格子パターンを模式的な平面図で表わしている。実施形態2における回折光学膜も、実施形態1の場合と同様の工程で作製することができる。すなわち、図7において、黒色の領域はDLC層のうちでHeイオンビームが照射されて屈折率が高められた領域を表わし、白色の領域はHeイオンビームが照射されなかった領域を表わしている。黒色のパターンは、 $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ の最小セルの組合せで形成されており、 $132 \mu\text{m}$ の周期性を有している。すなわち、図7の回折格子パターンにおいて、最小線幅は $4 \mu\text{m}$ である。

【0043】

図8は、実施形態2における屈折率変調型回折光学膜を光カップラ(パワー分岐

装置)として使用する場合のパワー分岐作用を模式的な断面図で図解している。すなわち、単一波長の光ビームを回折光学膜DFに入射させれば、その回折光学膜を通過する光の回折角は回折次数に依存して互いに異なる。その結果、単一波長の入射光ビームが、複数の回折光ビームに分離され得るのである。

【0044】

図9は、図7の光カプラによって図8のようにパワー分岐された複数の回折光ビームに直交する面内におけるビーム分布を示す平面図である。すなわち、パワーPを有する入射光ビームは、それぞれ $P/16$ のパワーを有する16本の回折光ビームに分岐され得る。

【0045】

本実施形態2において、図7に示されているような回折格子パターンを有する回折光学膜DFが一方端面に形成されたコリメータCの他方端面に光ファイバFを接続して、 $1.55\mu\text{m}$ の波長を有するビーム径 $350\mu\text{m}$ の光をその回折光学膜DFに垂直に入射させたところ(図1参照)、図9に示されているように4回対称に分布した16分岐の回折光ビームが得られた。

【0046】

なお、図9に示されているような複数の回折光ビームの分布パターンを実現し得る図7の回折格子パターンは、周知のようにフーリエ変換を利用して求めることができる。

【0047】

(実施形態3)

実施形態3においては、偏光合分岐の機能を有する回折光学膜を含む光ファイバが作製された。この実施形態3においても、実施形態1の場合と同様の工程で、ライン・アンド・スペースのパターンを有するDLCの回折格子層が形成された。ただし、実施形態3においては、幅 $0.4\mu\text{m}$ の高屈折率領域が $0.4\mu\text{m}$ の間隔を隔てて繰り返し配列させられた。

【0048】

図10は、実施形態3における屈折率変調型回折光学膜DFを偏光合分岐器として使用する場合の偏光分岐作用を模式的な断面図で図解している。すなわち、

TE成分とTM成分とを含むTEM波を実施形態3における回折光学膜DFに入射させれば、TE波とTM波とはその偏光の相違に依存して互いに異なる回折角で回折される。たとえば、図10に示されているように、0次回折光としてTE波が得られ、-1次回折光としてTM波が得られる。こうして、TE波とTM波との分岐が可能になる。

【0049】

実施形態3において、イオンビームの斜め照射によって幅 $0.4\mu\text{m}$ の高屈折率領域が $0.4\mu\text{m}$ の間隔を隔てて繰り返し配列させられた回折格子パターンを有する回折光学膜DFが一方端面に形成されたコリメータCの他方端面に光ファイバFを接続して（図1参照）、 $1.55\mu\text{m}$ の波長を有するビーム径 $350\mu\text{m}$ の光をその回折光学膜DFを介して射出させたところ、TE波とTM波とに分岐することができた。

【0050】

（実施形態4）

実施形態4においては、端面に波長板の機能を有する回折光学膜DFが形成されたコリメータCを端部に備えた光ファイバF（図1参照）が作製された。この実施形態4における回折光学膜においても、実施形態1の場合と同様の工程で、ライン・アンド・スペースのパターンを有するDLCの回折格子層が形成された。ただし、実施形態4においては、幅 $0.2\mu\text{m}$ の高屈折率領域が $0.2\mu\text{m}$ の間隔を隔てて繰り返し配列させられた。また、本実施形態4において用いられた光ファイバFは、他の実施形態の場合と異なって、単一モードファイバではなくて偏波保持ファイバであった。

【0051】

そのような偏波保持ファイバFに波長 $1.55\mu\text{m}$ の直線偏光を入力して、コリメータCを介して回折光学膜DFから射出された光は、円偏光に変換されていた。すなわち、実施形態4における回折光学膜DFは $1/4$ 波長板として機能し、偏光変換作用を生じている。

【0052】

（実施形態5）

図11の模式的な斜視図は、実施形態5の光ファイバに 응용され得る回折光学素子の光アイソレータとしての機能を模式的に図解している。この回折光学素子においては、石英ガラス基板31の第1主面上に第1のDLC膜32が形成され、第2主面上に第2のDLC膜33が形成されている。そして、第1のDLC膜32には、実施形態3と同様な回折格子が形成され、第2のDLC膜33には実施形態4と同様な回折格子が形成されている。

【0053】

波長 $1.55\mu\text{m}$ の光ビーム34を図11の回折光学素子に入射させれば、偏光分岐器として作用する第1の回折格子層32と $1/4$ 波長板として作用する第2の回折光学層33を通過した光35は、或る物体に反射されて戻ってきても、光アイソレータとして協働する $1/4$ 波長板33と偏光分岐器32を通過して戻ることができない。

【0054】

実施形態5において、図12の模式図に示されているように、コリメータC0の一端面に光アイソレータの機能を有する回折光学膜DFが形成され、そのコリメータの他端面に光ファイバF0が接合された。その回折光学膜DFにおいては、コリメータC0の一端面上に第1のDLC層D1が形成され、この第1のDLC層D1には実施形態3と同様な偏光分岐機能を有する回折格子が形成された。その後、第1のDLC層D1上に、 SiO_2 の中間層Mと第2のDLC層D2が順次形成された。なお、 SiO_2 の中間層Mは、CVD方やEB（電子ビーム）蒸着法によって形成され得る。そして、第2のDLC層D2には実施形態4と同様な $1/4$ 波長板の機能を有する回折格子が形成された。このとき、中間層Mは、第2のDLC層D2にイオンビームが照射されるときに、そのイオンビームが第1のDLC層D1に入射することを確実に防止し得る。

【0055】

図12に示されているように、光ファイバF0からコリメータC0を介して波長 $1.55\mu\text{m}$ で断面径 $350\mu\text{m}$ の光ビームを回折光学膜DFから射出させた。その場合に、偏光分岐器として作用する第1の回折格子層D1と $1/4$ 波長板として作用する第2の回折光学層D2を通過した光L0は、他のコリメータC1

を介して他の光ファイバF 1に入射後に或る界面などで反射されて戻り光L bとして戻ってきても、光アイソレータとして協働する1/4波長板D 2と偏光分岐器D 1を通過して光ファイバF内に戻ることができなかった。このとき、第1の回折格子層D 1への戻り光の通過光強度に対する入射光強度の比率である消光比として、40 dB以上の値が得られた。

【0056】

(実施形態6)

図13は、実施形態6による光ファイバが光コネクタを介して他の光ファイバに接合されている状態を模式的な断面図で示している。この実施形態6においては、実施形態5の場合と同様な光アイソレータの機能を有する回折光学膜DFが、光ファイバF 0の端面上に直接接して形成されている。そして、その回折光学膜DFは、20 μ m以下の全厚を有している。

【0057】

回折光学膜DFを有する光ファイバF 0の端部は、FC型光コネクタFC 0によって保持されている。その光コネクタFC 0は、ファイバ端部を保持するプラグ部PL 0と、そのプラグ部をアダプタAD 0に結合するための締結ナットN 0を含んでいる。同様に、他の光ファイバF 1の端部は、FC型光コネクタFC 1によって保持されている。その光コネクタFC 1も、ファイバ端部を保持するプラグ部PL 1と、そのプラグ部をアダプタAD 1に結合するための締結ナットN 1を含んでいる。2つのアダプタAD 0、AD 1は、小さなボルトとナット（図示せず）によって互いに接合され得る。

【0058】

図13に示されているように、実施形態6においては、従来の光アイソレータの場合のようにコリメータレンズや集光レンズを必要とすることなく、光アイソレータの機能を有する回折光学膜DFを介して2つの光ファイバF 0、F 1が直接接続され得る。これは、光アイソレータの機能を有する回折光学膜DFが20 μ m以下の全厚で形成され得るので、そのように20 μ m以下の小さい距離では光ビームの発散の影響を回避し得るからである。なお、コネクタFC 0、FC 1は、2つの光ファイバF 0、F 1の端部同士を互いに当接させるために、スプリ

ング（図示せず）を内蔵している。

【0059】

参考のために、図19は、光通信において用いられる従来のアイソレータを模式的に示している。この図において、光ファイバF0からコリメータC0を介して射出された光ビームは、アイソレータILに含まれる第1の偏光子P1、ファラデー回転子FR、および第2の偏光子P2を通過した後に、コリメータC1を介して光ファイバF1内に導入される。

【0060】

図13と図19との比較から明らかなように、実施形態6においては、従来に比べて非常にコンパクトに、光アイソレータを介して2つの光ファイバを当接接続することができる。なお、図13では光アイソレータを介して2つの光ファイバを当接接続するためにFC型コネクタが利用されているが、他の種々の形式のコネクタが利用されてもよいことは言うまでもない。また、例えばシリコン基板上に形成されたV字型溝内で、光アイソレータを介して2つの光ファイバが当接接続されてもよい。

【0061】

なお、以上の実施形態ではDLC膜の屈折率を高めるためにHeイオン照射を利用する例について説明されたが、DLC膜の屈折率を高めるためには、他の種類のイオン照射、X線照射、電子線照射などをも利用することができる。また、上述の実施形態では1.5 μm から1.6 μm までの波長範囲内の入射光に関して説明されたが、本発明においては、光通信分野において利用される可能性のある0.8 μm ～2.0 μm の範囲内のどのような波長を有する光に対しても使用し得る回折光学膜を有する光ファイバを作製することができる。

【0062】

さらに、上述の実施形態ではバイナリレベルの回折格子層を含む回折光学膜を有する光ファイバについて説明されたが、DLC層中にマルチレベルや連続変調型の回折格子をも形成し得ることは言うまでもない。その場合には、たとえばエネルギーレベルまたは／およびドーズ量を変化させたエネルギービームをDLC層に照射すればよい。

【0063】

さらに、上述の実施形態の多くの場合に回折光学膜DFがコリメータの端面上に形成されたが、望まれる場合には、実施形態6のように回折光学膜DFが光ファイバの端面上に直接に形成されてもよいことは言うまでもない。

【0064】**【発明の効果】**

以上のように、本発明によれば、実用的な屈折率変調型回折光学膜を端部に有する光ファイバを効率的に低コストで提供することができる。また、DLC層を利用することによって実現可能になった屈折率変調型回折光学膜においては、レリーフ型回折光学素子のように表面に微細な凹凸が存在しないので、その表面が汚染されにくくかつ汚染されてもその浄化が容易である。さらに、DLC層は高い耐磨耗を有するので、本発明の光ファイバの一端部に形成された回折光学膜はその表面が破損されにくい観点からも好ましい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明において一方端部に回折光学膜を有する光ファイバを示す模式図である。

【図2】 本発明における回折光学膜の作製法の一例の過程を図解する模式的な断面図である。

【図3】 本発明における回折光学膜の作製法の一例の過程を図解する模式的な断面図である。

【図4】 本発明における回折光学膜の作製法の一例の過程を図解する模式的な断面図である。

【図5】 本発明における波長合分岐器の波長分岐作用を図解する模式的な断面図である。

【図6】 本発明における波長合分岐器によって分岐された光の波長と強度分布との関係の一例を示すグラフである。

【図7】 本発明における光パワー分岐器における回折格子パターンの一例を示す模式的な平面図である。

【図8】 本発明における光パワー分岐器におけるパワー分岐作用を図解す

る模式的な断面図である。

【図 9】 図 7 の光パワー分岐器によってパワー分岐された複数の回折ビームに直交する面内におけるビーム分布を示す平面図である。

【図 10】 本発明における偏光分岐器における偏光分岐作用を図解する模式的な断面図である。

【図 11】 本発明において光アイソレータとして作用し得る回折光学膜の機能を図解する模式的な斜視図である。

【図 12】 本発明による光アイソレータを端部に有する光ファイバを図解する模式図である。

【図 13】 本発明による光アイソレータを端部に有する光ファイバがファイバコネクタによって他の光ファイバに接続された状態を示す模式的断面図である。

【図 14】 従来の屈折率変調型回折光学素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図 15】 従来のレリーフ型回折光学素子の一例を示す模式的な断面図である。

【図 16】 従来の屈折率変調型回折光学素子のもう 1 つの例を示す模式的な断面図である。

【図 17】 従来のレリーフ型回折光学素子のもう 1 つの例を示す模式的な断面図である。

【図 18】 光通信における従来の波長分岐回路を示す模式図である。

【図 19】 光通信において用いられる従来のアイソレータを示す模式図である。

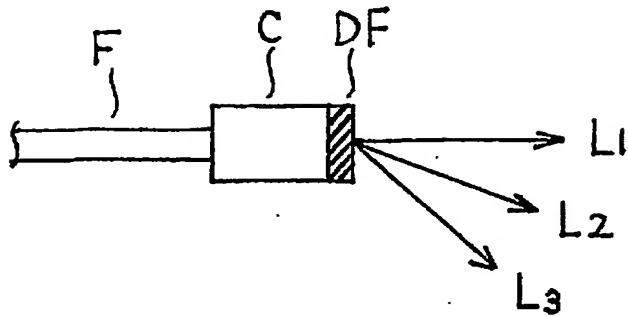
【符号の説明】

1 石英ガラス基板、2 DLC層、2a DLC層 2 中の高屈折率領域、3 金マスク、4 He イオンビーム、31 石英ガラス中間層、32 第 1 の回折格子層、33 第 2 の回折格子層、34 入射光、35 出射光、D1 第 1 の DLC 層、D2 第 2 の DLC 層、M 石英ガラス中間層、F、F0、F1、F2 光ファイバ、C、C0、C1、C2 コリメータ、FC0、FC1 コネク

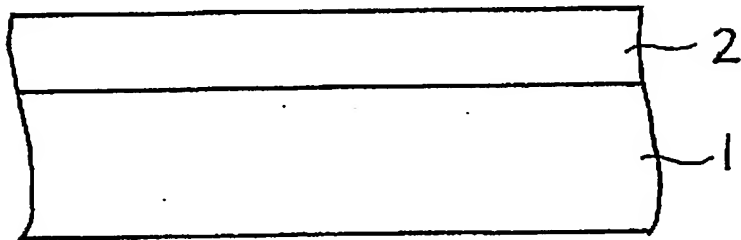
タ、AD0、AD1 アダプタ。

【書類名】 図面

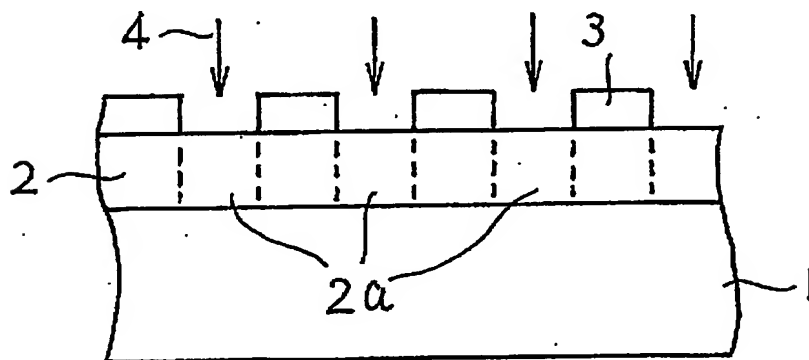
【図 1】



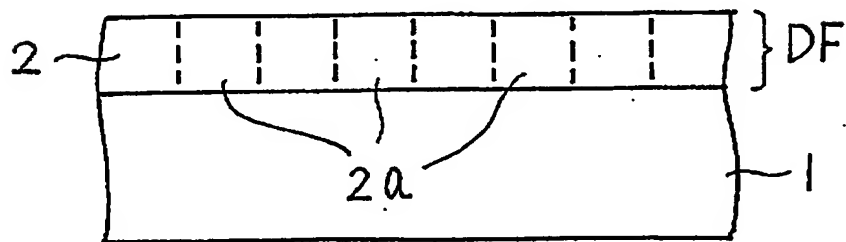
【図 2】



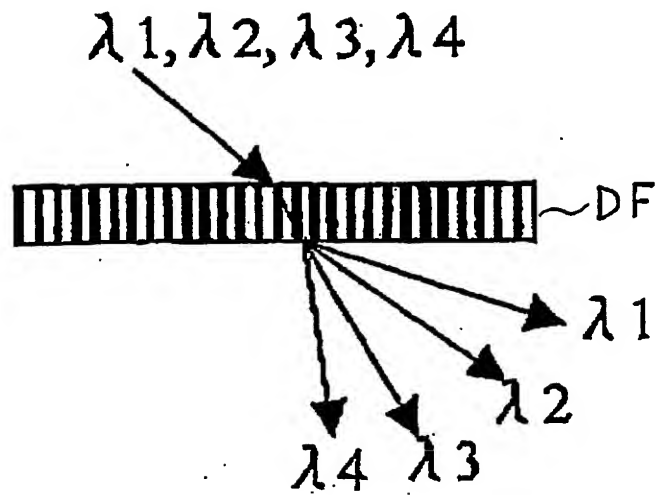
【図 3】



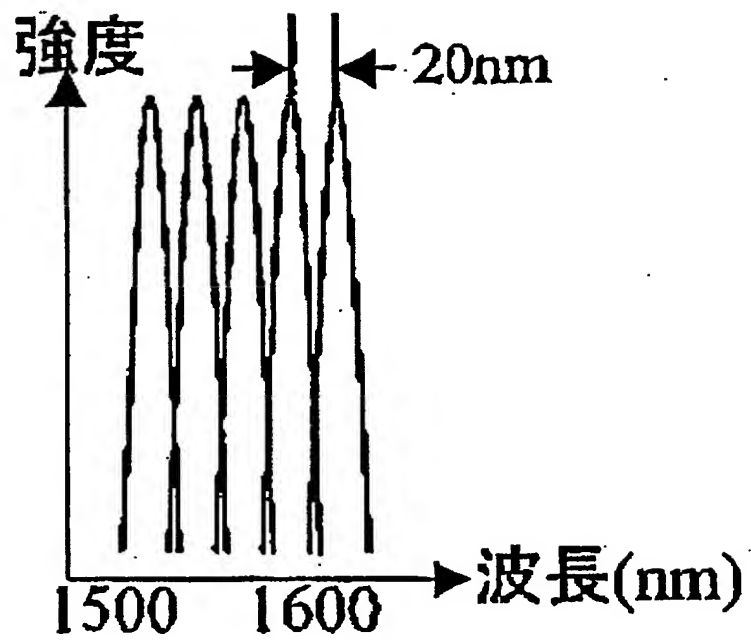
【図 4】



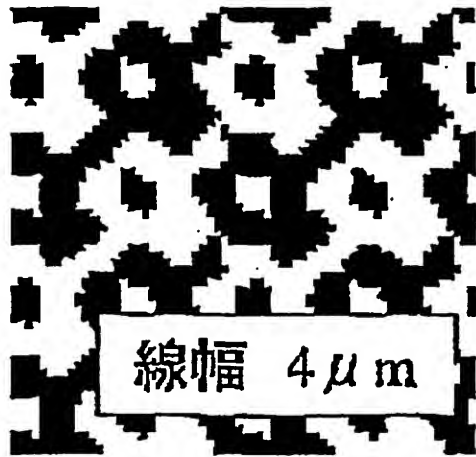
【図5】



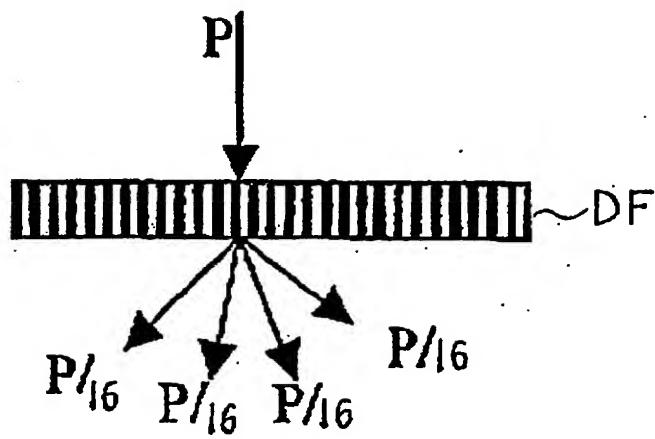
【図6】



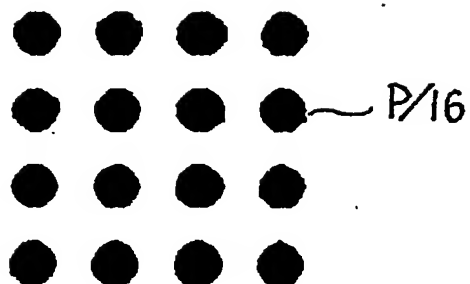
【図 7】



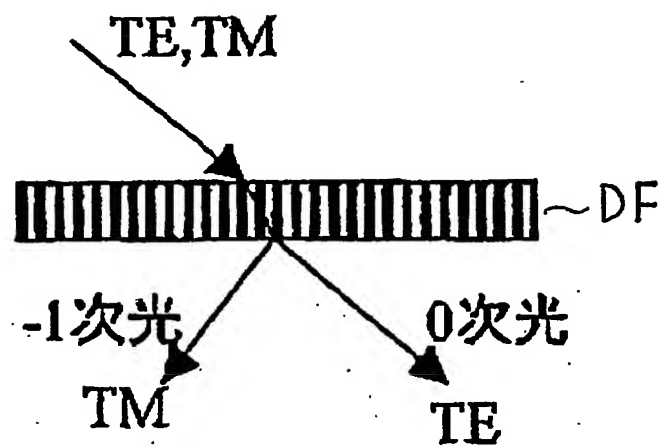
【図 8】



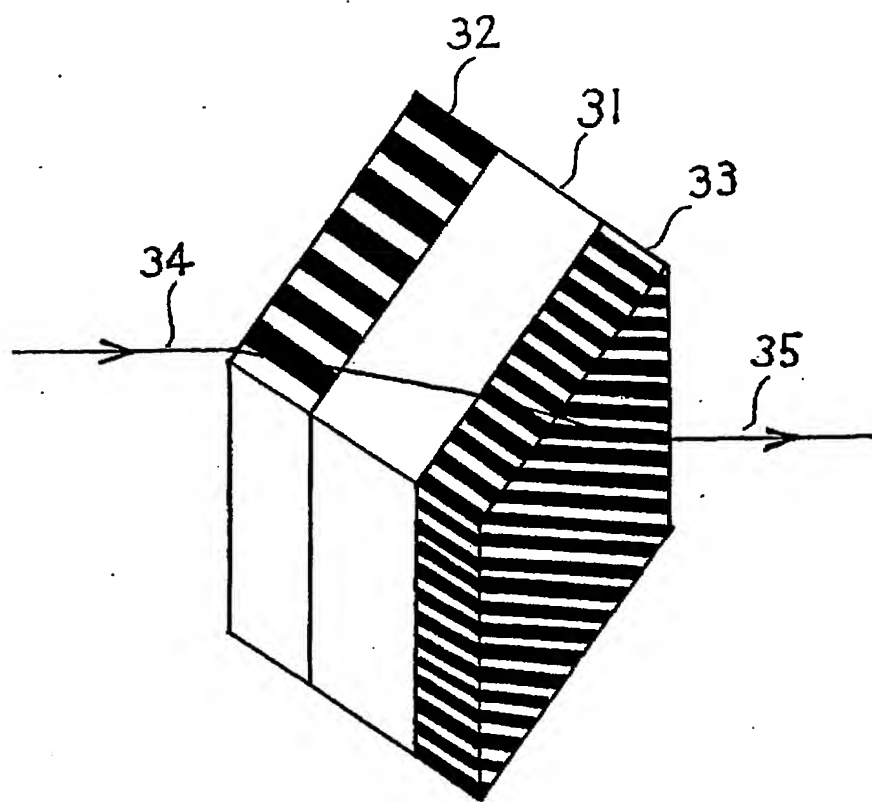
【図 9】



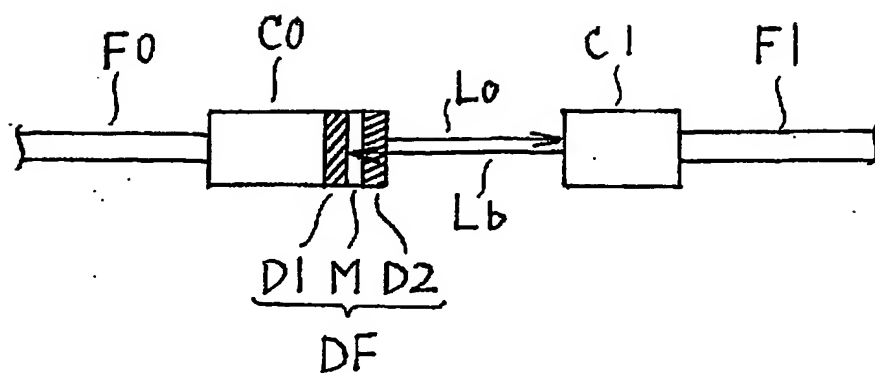
【図10】



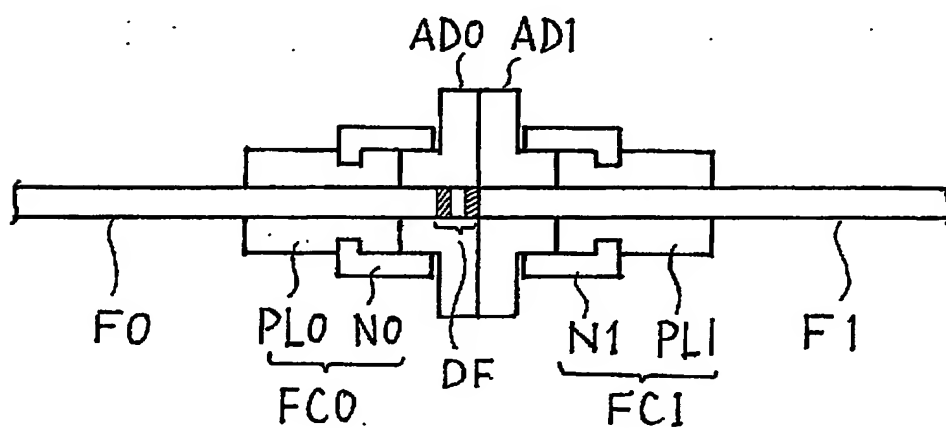
【図11】



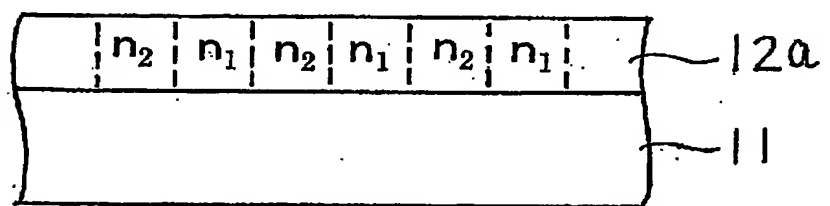
【図12】



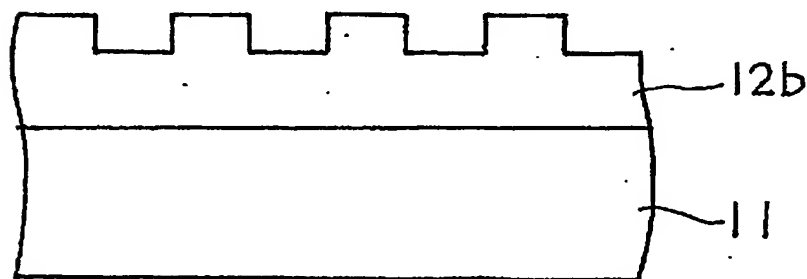
【図13】



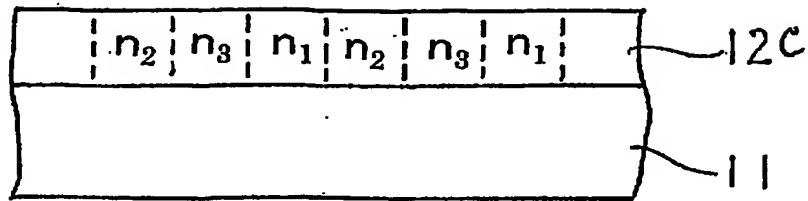
【図14】



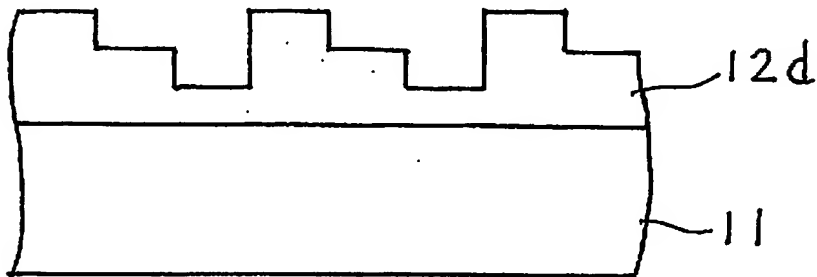
【図15】



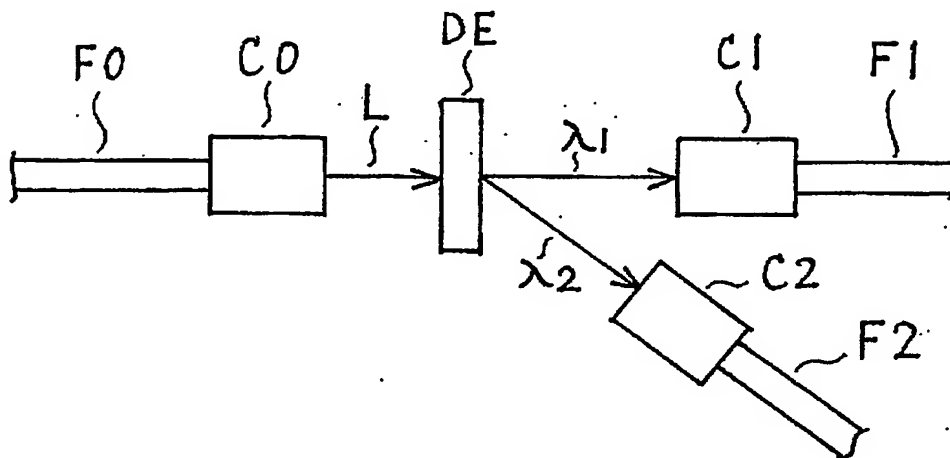
【図 16】



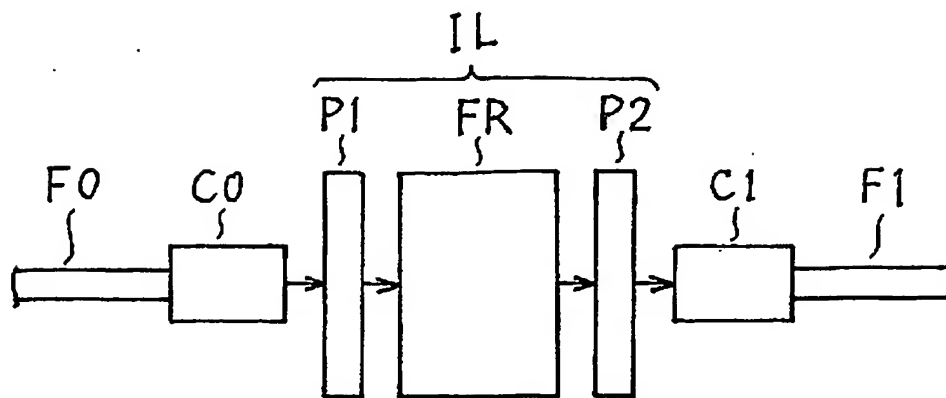
【図 17】



【図 18】



【図19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実用的で小さな回折光学膜を端部に有する光ファイバを効率的に低コストで提供する。

【解決手段】 光ファイバ（F）はその端面上またはその端面に接合されたコリメータ（C）の端面上に形成された回折光学膜（DF）を含み、この回折光学膜は透光性DLC（ダイヤモンド状炭素）層を含み、このDLC層は相対的に高屈折率の局所的領域と相対的に低屈折率の局所的領域を含む屈折率変調型回折格子を含んでいる。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 2 - 3 6 3 3 4 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.